

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1889

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le Jeudi 6 Juin 1889, à 1 heure

Par FRANÇOIS MADEUF

Licencié ès-sciences physiques. — Pharmacien de 1^{re} Classe.

Licencié ès-sciences naturelles.

Ex-Professeur libre et à l'Association Philotechnique.

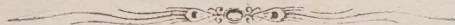
Né à Mon'-Dore (P. D. D.) le 18 février 1839.

DE L'ACTION DU FROID AVEC OU SANS PRESSION SUR LES ÊTRES INFÉRIEURS

Président : M. LABOULBÈNE, professeur.

Juges : MM. { HUTINEL, professeur.
BALLET et TROISIER, agrégés.

Le Candidat répondra aux questions qui lui seront faites sur les diverses parties de l'enseignement médical.



PARIS

IMPRIMERIE ADOLPHE REIFF

3, RUE DU FOUR, 3

1889

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Doyen.....	M. BROUARDEL.
Professeurs.....	MM.
Anatomie.....	FARABEUF.
Physiologie.....	CH. RICHET.
Physique médicale.....	GARIEL.
Chimie organique et chimie minérale.....	GAUTIER.
Histoire naturelle médicale.....	BAILLON.
Pathologie et thérapeutique générales.....	BOUCHARD.
Pathologie médicale.....	DAMASCHINO.
	DIEULAFOY.
Pathologie chirurgicale.....	GUYON.
	LANNELONGUE.
Anatomie pathologique.....	CORNIL.
Histologie.....	MATHIAS DUVAL.
Opérations et appareils.....	DUPLAY.
Pharmacologie.....	REGNAULD.
Thérapeutique et matière médicale.....	HAYEM.
Hygiène.....	PROUST.
Médecine légale.....	BROUARDEL.
Accouchements, maladies des femmes en couches et des enfants nouveaux-nés.....	TARNIER.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.....	LABOULBÈNE.
Pathologie comparée et expérimentale.....	STRAUSS.
	G. SÉE.
Clinique médicale.....	POTAIN.
	JACCOUD.
	PETER.
	GRANCHER.
Maladie des enfants.....	BALL.
Clinique de pathologie mentale et des maladies de l'encéphale.....	FOURNIER.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	CHARCOT.
Clinique des maladies du système nerveux.....	RICHET.
	VERNEUIL.
Clinique chirurgicale.....	TRELAT.
	LE FORT.
Clinique ophthalmologique.....	PANAS.
Clinique d'accouchement.....	PINARD.

Professeurs honoraires.

MM. GAVARRET, SAPPEY, HARDY et PAJOT.

Agrégés en exercice.

MM. BALLET	MM. HANOT	MM. PEYROT	MM. REMY
BLANCHARD	HANRIOT	POIRIER, chef	REYNIER
BOUILLY	HUTINEL	des travaux	RIBEMONT-
BRISSAUD	JALAGUIER	anatomiques	DESSAIGNES
BRUN	JOFFROY	POUCHET	ROBIN(Albert)
BUDIN	KIRMISSON	QUENU	SCHWARTZ
CAMPENON	LANDOUZY	QUINQUAUD	SEGOND
CHAUFFARD	MAYGRIER	RAYMOND	TROISIER
DEJERINE		RECLUS	VILLEJEAN

Secrétaire de la Faculté : M. Ch. PUPIN.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON MAÎTRE

M. GEORGES POUCHET

PROFESSEUR AU MUSÉUM

FAIBLE TÉMOIGNAGE DE RESPECT ET DE RECONNAISSANCE

AVANT-PROPOS

Aucun des traités de Physique que nous avons compulsés ne donne un exposé complet de tous les phénomènes présentés par l'eau quand on la refroidit et des expériences qui ont été faites à ce sujet.

Si nous avons résumé la question du refroidissement de l'eau, en indiquant la source des travaux auxquels nous avons puisé, c'est que toutes nos expériences personnelles ou celles que nous proposons de faire s'appuient sur les résultats trouvés par les physiciens.

Qu'il nous soit permis de remercier ici MM. Gernez, Duclaux, Jousset de Bellesme et Ch. Tellier pour les renseignements qu'ils ont bien voulu nous donner.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements
à M. le Professeur Laboulbène de l'honneur qu'il
nous fait en acceptant la présidence de notre
thèse.

DE L'ACTION DU FROID

AVEC OU SANS PRESSION

SUR LES ÊTRES INFÉRIEURS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554031_0043

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

SURFUSION DE L'EAU

L'eau, comme presque tous les corps liquides, devient solide quand on la refroidit et elle partage avec le bismuth la singulière propriété d'augmenter de volume.

Cependant, on peut tout en baissant sa température la maintenir liquide dans deux conditions différentes, soit en la maintenant en surfusion, soit en l'enfermant dans un vase clos dont les parois sont assez résistantes pour s'opposer à son extension.

Fahrenheit, le premier (*Philosophical Transactions*, t. XXXVIII, p. 78, année 1724) a maintenu l'eau en surfusion. Il se servait d'un thermomètre à eau et il constata que la température pouvait baisser sans que l'eau ne devint solide.

Gay-Lussac (*Annales de Chimie et de Physique*, 2^e série t. LXIII, p. 363) répéta les expériences de

Fahrenheit et maintint même de l'eau liquide au dessous de 0 dans un vase à large ouverture ; il employait de l'eau bouillie et déposait à sa surface un peu d'huile. Il put aller ainsi jusqu'à — 12° mais il donne très peu de détails sur son expérience.

Desprez (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1837) a maintenu de l'eau liquide au-dessous de zéro dans une boule en verre entourant un thermomètre. Il se servait aussi de l'eau bouillie.

On sait d'ailleurs depuis longtemps que l'eau maintenue dans un état de parfaite tranquillité peut se refroidir notablement au-dessous de zéro sans se congeler, et que ce phénomène est surtout sensible lorsque l'eau est renfermée dans un tube de petit diamètre. M. Sorby (*Philosophical Magazine*, 4^e série t. XVIII, p. 105, 1859) a pu abaisser la température de l'eau sans la congeler beaucoup plus encore qu'on ne l'avait fait avant lui en se servant de tubes capillaires ; mais ce que ses expériences offrent de plus intéressant, c'est le procédé simple et exact qui lui a servi pour reconnaître l'instant de la congélation. Comme rien n'est plus facile à confondre qu'un filet très mince d'eau et un très mince filet de glace, il a eu recours pour les distinguer à la lumière polarisée. Le tube capillaire plein d'eau était placé devant l'objectif d'un microscope et éclairé par de la lumière polarisée dont le plan de polarisation était parallèle ou perpendiculaire à la

longueur du tube. A l'aide d'un analyseur placé derrière l'oculaire d'un microscope, on pouvait éteindre complètement la lumière transmise ; mais à l'instant où la congélation avait lieu, la double réfraction de la glace faisait apparaître une coloration sensible. On a pu ainsi reconnaître avec exactitude que dans un tube capillaire de $1/10$ de millimètre de diamètre, l'eau pouvait être maintenue liquide jusqu'à -16° , mais qu'elle se congelait toujours à 17° , même en l'absence de toute agitation.

M Dufour (*Annales des Sciences physiques et de Chimie*, année 1868) a aussi étudié la surfusion de l'eau dans d'autres conditions. Voici le résumé de ses expériences :

Le retard de la solidification est facilité par un grand calme et par l'absence du contact de l'air. Il se produit aussi plus difficilement et plus rarement dans les circonstances tout ordinaires. Les ébranlements, l'agitation du liquide, le contact d'un solide, etc., sont les principales causes déterminantes de la solidification de l'eau amenée au dessous de zéro, tout comme ce sont aussi les principales causes de cristallisation des dissolutions salines sursaturées, du sulfate de soude entre autres. L'influence d'un contact solide, et du contact de certains solides surtout, se manifeste d'une façon si évidente dans ces solidifications et dans ces cristallisations, qu'il a paru intéressant de rechercher comment se comporterait l'eau

en dehors de tout contact solide et pendant un refroidissement prolongé au dessous de zéro. Il était intéressant de voir dans quelle partie du liquide et de quelle manière la solidification commencerait.

Pour que l'eau soit maintenue privée du contact des solides il faut en outre que ce milieu puisse subir un abaissement de température un peu considérable et qu'il ne soit pas susceptible de former un mélange aqueux.

Un mélange de chloroforme et d'huile d'amandes douces ou de chloroforme, d'huile d'amandes douces et d'huile de pétrole convient parfaitement. L'eau y flotte en sphères isolées tout à fait semblables à ces sphères d'huile des célèbres expériences de Plateau.

Si, dans ces circonstances, on abaisse la température du mélange chloroforme et huile, on ne tarde pas à voir le thermomètre au-dessous de zéro sans que l'eau se gèle. Il est très rare qu'une sphère se solidifie à zéro ; habituellement l'eau baisse à -4° — 10° . La congélation intervient plus ou moins promptement lorsque la température baisse beaucoup, et à partir de -8° à -10° , les globules gèlent successivement sans qu'il soit facile de distinguer la cause qui détermine le changement d'état et la brusque formation d'une sphère de glace ; les globules plus petits persistent en général le plus longtemps ; à plusieurs reprises on en a vu encore liquides à -18° — 20° . Le contact d'un morceau

de glace provoque immédiatement la solidification des sphères tandis que celui du fer, du sucre etc. ne produit rien.

M. Tellier, justement connu par ses expériences industrielles sur la conservation de la viande par le froid et ses nombreux travaux, a annoncé dans une note publiée dans les comptes rendus de l'Académie des sciences 1872, qu'il maintenait facilement de l'eau à moins de 4 degrés. Nous sommes allés à son usine de la rue Félicien-David, pour obtenir des données complémentaires et voici ce que M. Tellier a eu l'obligeance de nous dire :

En fabriquant les carafes frappées il a souvent constaté qu'un certain nombre d'entre elles restaient liquides jusqu'à — 4° — 5°. L'agitation brusque et surtout une parcelle de glace déterminaient la solidification instantanée. Mais, à cette époque, il employait des bains dont la température n'était pas inférieure à moins 6 degrés et, dans ces conditions, le refroidissement était très lent. M. Tellier a répété plusieurs fois dans des conférences avec des mélanges réfrigérants très faibles cette expérience.

Nous sommes allés ensuite visiter l'usine de la Société des Glacières de Paris, rue Rouelle, où le directeur, M. Pfister, sur la recommandation de M. Tellier, s'est mis complètement à notre disposition. Mais ici, les bains employés à la fabrication des carafes frappées sont à moins 16 degrés environ et,

dans ces conditions, le refroidissement est trop rapide pour obtenir la surfusion de l'eau.

CHAPITRE II

EAU MAINTENUE LIQUIDE PAR LA PRESSION

L'eau en passant à l'état solide augmente de volume. Galilée l'avait déjà observé.

Bunsen (*Annales de Poggendorff*, t. CXLI 1870) a montré qu'elle augmente de 0,83.

La force avec laquelle l'eau tend à se dilater pendant la congélation est considérable, puisqu'elle doit être égale à la pression qu'il faudrait exercer sur un morceau de glace pour en diminuer le volume de 0,08 ; aussi cette force d'expansion est-elle capable de briser les enveloppes les plus résistantes ; c'est ce que l'on a constaté depuis longtemps. Les Académiciens de Florence, en exposant à un froid intense une sphère de cuivre remplie d'eau, en déterminèrent la rupture, bien que l'épaisseur du métal fut de 67 centièmes de pouce (*Saggi di naturali esperenze fatte nell' Accademia del Cimento*, terza edizione. Fiorentino, p. 84). Huygens (*Histoire de l'Académie* 1670), fit éclater en deux endroits, par l'effet de la congélation de l'eau, un canon de fer ayant un doigt d'épaisseur.

Le major Edwards Williams répéta à Québec les

expériences de Huygens. Il remplit d'eau et exposa au froid des bombes ; celles-ci éclatèrent. C'est en discutant ces expériences que Charles Hutton, (*Transactions of the royal Society of Edimburg*, vol. II, p. 27) émit l'opinion que si la force expansive développée pendant l'acte de la congélation était inférieure à la résistance des parois du vase, cette résistance deviendrait un obstacle à la formation de la glace, et que l'eau resterait liquide à la plus basse température.

Boussingault (Comptes rendus de l'Académie des sciences 1871-72) maintint le premier, en se conformant aux idées de Hutton, de l'eau liquide dans un tube résistant.

Il prit un cylindre d'acier fondu et forgé de 46 centimètres, foré jusqu'à une profondeur de 24 centimètres. Le diamètre intérieur était de 1 centimètre 3 ; l'épaisseur des parois 8 millimètres.

Le bas du canon, en acier plein, avait une forme hexagonale, afin de pouvoir être saisi dans la mâchoire d'un étau. Le haut du canon, à partir de l'ouverture, portait un pas de vis sur lequel s'ajustait, comme un écrou, une pièce d'acier évidée, au fond de laquelle, pour assurer la fermeture, on plaçait une forte rondelle de plomb. Une bille d'acier, placée dans l'intérieur, devait indiquer par sa mobilité ou son immobilité, si l'eau contenue dans le canon était ou non solidifiée.

La capacité du canon était de 55 centimètres cube.

Le 26 décembre 1870, le canon d'acier, préalablement refroidi à $+ 4^{\circ}$, a été rempli avec de l'eau distillée non bouillie, également à $+ 4^{\circ}$. Après l'avoir fermé en vissant le couvercle à l'aide d'une clef à levier, (c'est pour lui la partie la plus difficile de l'expérience, on verra plus loin comment nous avons fait disparaître cette difficulté), en retournant le canon, on entendait très distinctement le tintement métallique produit par la chute de la bille d'acier.

A 9 heures du matin, l'appareil fut exposé sur une terrasse; la température de l'air était de $- 13$ degrés. A midi (température de $- 12$ degrés), on put s'assurer par le mouvement de la bille que l'eau était restée liquide. Jusqu'au soir, l'air se maintint à $- 9$ degrés. L'eau conserva sa fluidité.

Le 27 décembre, à 8 heures du matin, le thermomètre marquait $- 24$ degrés; la mobilité de la bille d'acier prouva que l'eau avait échappé à la congélation.

Le 30 décembre, on procéda à l'ouverture du canon, la température étant de $- 10$ degrés. A peine eut-on commencé à dévisser le couvercle, que l'on vit surgir une légère végétation de givre. L'eau gela instantanément, aussitôt que la pression qu'elle supportait fut supprimée. En chauffant le canon de manière à détruire l'adhérence, on en retira un

cylindre de glace d'une grande transparence. Dans l'axe de ce cylindre il y avait une rangée de très petites bulles d'air.

Le 2 janvier 1871, au soir, le canon fut rempli à $-4^{\circ},2$ et exposé sur la terrasse à un froid de -13° .

Le 3 janvier, au matin, la température étant de -18 degrés, l'eau n'était pas congelée; la bille d'acier se mouvait en toute liberté.

A 11 heures, le couvercle du canon fut dévissé, l'air étant à -10 degrés. La congélation eut lieu immédiatement; comme dans la première expérience, quelques petites bulles de gaz étaient disposées dans l'axe du cylindre de glace. Ainsi, dans un canon d'acier fondu, à parois assez épaisses pour être considéré comme inextensible, l'eau introduite à $+4$ degrés avait, pendant plusieurs jours, conservé l'état liquide à de très basses températures. La congélation a eu lieu aussitôt qu'on eut supprimé, en ouvrant le canon, l'obstacle qui s'opposait à la dilatation de l'eau refroidie.

CHAPITRE III

LIQUÉFACTION DE LA GLACE PAR LA PRESSION.

Mousson (Annales de Poggendorff, t. CV) s'est proposé de faire l'expérience inverse de Boussin-

gault, c'est-à-dire de liquéfier de la glace par la pression.

Il fit congeler de l'eau dans un tube d'acier au fond duquel il avait placé une pointe de cuivre qui se trouva aussi incrustée sous la glace. Le tube fut plongé dans un mélange réfrigérant et fermé à sa partie supérieure par une pièce taraudée faisant office de piston. On enfonça le piston d'environ 9 millimètres ce qui, d'après Mousson, devait porter la pression intérieure à 13,000 atmosphères. (Cette pression était quatre fois trop forte environ.) L'appareil fut renversé et quand on ouvrit le tube, toujours à -20° , on trouva que la pointe avait traversé la glace. Il y avait donc eu liquéfaction pendant la pression.

CHAPITRE IV

PRESSION NÉCESSAIRE POUR EMPÊCHER LA CONGÉLATION

Guidé par les idées théoriques sur la théorie mécanique de la chaleur et le principe de Carnot, James Thompson (*Transactions philosophiques de la Société royale d'Édimbourg*, tome XVI, et *Philosophical magazine*, 3^e série, tome XXXVII), annonça que pour les corps qui, comme la glace, diminuent de volume par la fusion, l'augmentation de la pression doit abaisser la température de la fusion.

Sir William Thompson essaya de soumettre cette prévision théorique au contrôle de l'expérience au moyen d'un appareil (Voir William Thompson, *Philosophical magazine*, 3^e série, tome LXXXVII, et *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, tome XXXV, année 1852).

C'est un cylindre en verre dans lequel on peut exercer des pressions énergiques, à l'aide d'un piston à vis, et qui contient de la glace concassée maintenue à la partie inférieure du vase par un anneau de plomb. Un thermomètre protégé par une enveloppe de verre résistante donne la température de la glace fondante. Un manomètre à air comprimé mesure la pression à laquelle elle est soumise. Enfin, le reste de la capacité du cylindre est remplie d'eau. Sous la pression atmosphérique, le thermomètre marque zéro, qui est la température ordinaire de la glace fondante ; mais il baisse quand on comprime l'eau intérieure. Il arrive à 0°,049 et à 0°,129 sous les pressions de 8 atmosphères et de 16 atmosphères 8. Ce qui prouve que le point de fusion de la glace s'abaisse quand la pression augmente.

En moyenne, pour un accroissement de pression de l'atmosphère ou de 10,334 kilog. par mètre carré, l'abaissement de la température produit est de 0°,0075. La théorie indique 0,0068, 8 nombre presque identique à celui qui a été fourni par l'expérience directe.

Après avoir résumé tous les phénomènes physiques que présente l'eau lorsqu'on la maintient liquide au-dessous de zéro, examinons les expériences physiologiques qui pourraient s'y appliquer.

Il y aurait donc lieu d'étudier :

1° L'action du froid à zéro sur les êtres vivants.

2° L'action du froid à zéro et au-dessous, l'eau se congelant.

3° L'action du froid au-dessous de zéro, l'eau restant en surfusion.

4° L'action du froid au-dessous de zéro, l'eau restant liquide, grâce à la résistance des parois qui la contiennent et soumise à une pression considérable augmentant à mesure que la température s'abaisse.

5° Influence de la pression sur les êtres vivants enfermés dans un bloc de glace.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE I

ACTION DU FROID A ZÉRO DEGRÉS SUR LES ANIMAUX

Avant de rendre compte des expériences que nous avons faites sur l'action du froid sur les êtres vivants, nous croyons devoir donner quelques explications sur les circonstances qui nous ont conduit à étudier la question dans tous les états physiques que peut présenter l'eau soumise aux basses températures.

Dans les montagnes, et particulièrement au mont Dore, notre pays natal, on observe fréquemment l'hiver une série de jours de beau soleil, alors que la campagne est entièrement recouverte de neige, vers le mois de mars surtout. Quelques insectes, et principalement les abeilles, sortent de leur engourdissement et vont voltiger à travers la campagne. Soit qu'elles aient mal mesuré leurs forces, soit qu'elles aient été surprises par le froid, lorsqu'arrive le soir, elles tombent sur la neige et s'y enfouissent.

D'après cette observation, il serait facile d'étudier, d'une manière précise, le nombre de calories que certains petits animaux peuvent développer en un temps donné.

Dans notre jeune âge, il nous est arrivé fréquemment, parcourant la campagne, de sauver la vie à quelques abeilles en les réchauffant, soit de notre souffle dans nos mains, soit en les mettant sur notre poitrine.

Nous avons eu souvent le bonheur de les ranimer, et nous nous souvenons même que l'une d'elles nous piqua, ce qui refroidit sensiblement nos bonnes intentions à leur égard. Ce petit accident grava dans notre mémoire ce fait que les insectes peuvent supporter *dans la neige* les basses températures des montagnes pendant au moins 24 heures.

Nous parcourions en effet tous les matins le parc, et la plupart des abeilles trouvées dans des endroits où nous avions passé la veille, se ranimaient facilement, tandis que celles que nous trouvions dans d'autres endroits et qui étaient probablement dans la neige depuis plusieurs jours se ranimaient rarement.

Il y a trois ans, un de nos amis, M. Raoul Boulard, du Muséum, à qui nous racontions ce fait, nous donna l'idée de tenter l'expérience sur des larves d'insectes.

On sait, en effet, et nous en parlerons plus loin, que les œufs de différents insectes résistent à la tem-

pérature de la glace fondante. D'autre part, on sait aussi que les œufs de poissons se conservent admirablement dans la glace.

Les Anglais ont utilisé cette faculté pour transporter des saumons à Melbourne.

Les œufs de saumons de Californie qui, avant peu, grâce aux soins intelligents de M. Jousset de Bellesme, directeur de l'aquarium du Trocadéro, prospéreront dans nos rivières, nous sont arrivés dans la glace, et c'est aussi dans la glace que M. Gréhan, le fils du sympathique aide-naturaliste du Muséum, a essayé d'en transporter au Chili, où les eaux sont à peu près dépourvues de poissons comestibles.

Nous nous décidâmes donc à tenter de conserver la larve de la mouche de viande, vulgairement l'asticot, dans une glacière.

Un grand nombre furent placés dans deux vases fermés ; l'un en verre de 250 grammes, l'autre en fer blanc d'environ 125 grammes, et expédiés au Mont-Dore avec prière de les mettre aussitôt dans une glacière.

C'était au mois de septembre.

A Pâques, c'est-à-dire *huit mois après*, nous procédâmes à l'ouverture des vases et ce fut pour nous une grande satisfaction de voir, au bout de quelques instants d'exposition au soleil, que la plupart étaient encore en vie.

Cette expérience n'est pas une vue de l'esprit. *Nous*

avons des témoins, parents et gens du pays, qui ne nous ont pas épargné leurs railleries et ne craignent d'ailleurs pas de les renouveler.

Cette observation nous a conduit à penser que la mort des êtres soumis aux basses températures était surtout due à la congélation, et nous avons, par suite, cherché à les en soustraire, même aux températures les plus inférieures.

Voici quelques autres observations :

M. Raulin a conservé à zéro, pendant plusieurs semaines, des œufs de vers à soie bivoltins mis à cette température aussitôt après la ponte.

De même, des chrysalides de vers à soie ordinaires ont été conservés pendant plusieurs mois à 0 degré, à partir du moment de leur formation et ont donné ensuite des papillons; mais *celles qui sont restées plus de quatre mois* à cette température sont mortes. (Congrès international séricicole, 1871-1872.)

Réaumur (*Mémoires pour servir à l'histoire des insectes*, tome II, page 25) a maintenu pendant plusieurs mois *dans de l'eau* à zéro, des grenouilles sans qu'elles soient engourdies ou privées de leurs organes des sens, à la seule condition que l'eau aérée qui les entoure et qui baigne la surface de leur peau se renouvelle.

M. Duclaux (*Annales de l'Ecole Normale supérieure*, 1869) a montré que la vie des œufs de vers à soie, depuis la ponte jusqu'à l'éclosion, pouvait être

divisée en deux périodes, différentes entre elles par le travail physiologique qui s'opère dans la graine, et dont la seconde, celle où se produit l'évolution de l'embryon, et qui aboutit à la naissance du jeune ver, ne commence et ne poursuit son cours régulier qu'à la condition d'avoir été séparée de la première par une époque de froid et d'hibernation véritable.

Dans une communication à l'Académie des Sciences (tome LXIX), M. Duclaux dit que l'action du froid, qui, d'après ses premiers résultats, était nécessaire pour que la graine put éclore, était en même temps suffisante pour cela, c'est-à-dire qu'en exposant, avant l'hiver, de la graine à un froid artificiel suffisamment prolongé, on pouvait avancer son éclosion.

Il ajoute que s'il est possible de raccourcir beaucoup, à l'aide du froid, la première période de la vie de la graine, on peut, par contre, l'allonger presque indéfiniment en la soustrayant à l'action de cet agent physiologique.

M. Duclaux a pu garder la graine de vers à soie pendant soixante jours dans la glacière.

CHAPITRE II.

ACTION DU FROID, A DES TEMPÉRATURES INFÉRIEURES
A ZÉRO L'EAU POUVANT SE CONGÉLER.

On trouvera dans le mémoire de A. Pouchet (*Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, de Robin, 1866) un exposé complet des principales observations recueillies sur ce sujet. Ce savant a fait de nombreuses expériences qui ne s'accordent guère avec tout ce qui a été publié avant lui. Il refroidissait graduellement les animaux qu'il soumettait au froid et les réchauffait lentement. Aucune des nombreuses espèces qu'il a mis en expérience (crapauds, limaces, insectes et leurs larves, sangsues, lymnées, reptiles, poissons, etc.) n'a résisté, contrairement aux assertions de ses devanciers.

Bouley et Gibier (comptes-rendus) ont tué les trichines des jambons d'Amérique par une congélation de plusieurs degrés. Nous devons néanmoins citer, d'après M. Jousset de Bellesme (comptes-rendus) et M. Raulin (loc. cit.), la résistance de chrysalides de certains papillons.

MM. Girard et Lichtenstein (comptes-rendus 1880) ont vu, le premier, des pucerons, le second, le phylloxera résister à moins 10 degrés.

Plantes. — Le fait que certaines mucédinées vivent en plein air, résistant aux hivers les plus ri-

goureux, semblent montrer qu'elles peuvent s'accommoder d'un fort abaissement de température. Les spores des urédinées, telles que le *puccinia graminis*, l'*uromyces appendiculatus*, supportent dans certaines régions sans perdre de leur faculté de germination. — On pourrait difficilement dire que les spores qui poussent dans les lieux froids sont peut-être venus d'ailleurs à cause de l'étendue des pays qui sont soumis à un froid rigoureux. — Caymard de Latour avait, lui aussi, soumis de la bière à -90° , mais il ne dit pas comment il s'était mis à l'abri de l'ensemencement spontané. Melsens a contrôlé ses expériences. Millardet a soumis le mildew à plusieurs degrés au-dessous de zéro sans pouvoir arrêter son développement.

Citons aussi la résistance des oscillaires servant de témoins dans nos expériences sur le froid et la pression combinés.

Graines. — MM. Casimir de Candolle et Pictet (*De l'effet des températures très basses sur la faculté germinative des graines*. Berne, 1879) ont fait agir pendant près de deux heures sur les graines de 13 espèces, un froid de -80° obtenu par l'évaporation d'un mélange d'acide sulfureux liquide et le protoxyde d'azote liquide. Ces graines ont germé ensuite comme leurs semblables qui n'avaient pas été refroidies, et les jeunes plantes en sont venues de même de part et d'autre.

Si les mêmes graines sont imbibées d'eau, un froid de -5 et -10° suffit pour en empêcher la germination.

Toutefois, M. Toutphous (*Sur la germination des graines*. Diss. inaug. Munich, 1876) a reconnu qu'un réchauffement opéré ensuite lentement diminue considérablement les effets du refroidissement antérieur.

Les graines oléagineuses sont moins sensibles au froid que les graines féculentes.

Microbes. — Fraenkel, le premier, a fait des études bactériologiques de la glace. Les spores de bacillus, d'après les expériences de Frisch, résistent à des températures de -87° et -111° . Chantemesse et Vidal ont exposé le bacille de la fièvre typhoïde à l'action de la température de l'air extérieur pendant l'hiver, mais ils n'ont pas noté le minimum de cette température. (*Archives de Physiologie*, 1887.)

Le but de M. Prudden (*Sur les bactéries de la glace*, etc., New-York, *Medical Record*, 26 mars, 2 avril 1887) a été de s'assurer de la mesure dans laquelle la congélation *naturelle* des eaux de rivière et d'étang qui servent à alimenter les glaciers de New-York purifie ces eaux et tue les microbes, pathogènes ou non, qu'elles contiennent normalement.

Ces recherches ont été précédées de quelques expériences de laboratoire sur l'influence qu'exerce la congélation sur diverses espèces de bactéries et sur-

tout la durée de celles-ci. Prudden a vu de cette façon que la résistance varie beaucoup chez les microbes. Le *bacillus prodigiosus*, au nombre de 6300 par centimètre cube d'eau avant la congélation, disparaît entièrement après 5 jours de congélation. Le *proteus vulgaris* de même. Le *staphylococcus pyogènes aureus* résiste mieux. Le bacille de la fièvre typhoïde résiste bien : en quantité innombrable avant l'expérience, il se trouve encore au nombre de 37,000 par centimètre cube après 103 jours de congélation. Prudden conclut de ses expériences que la congélation même prolongée, ne tue que rarement tous les microbes de l'eau ; elle en diminue le nombre, mais c'est tout, et cela ne les empêche pas de proliférer dès que le dégel le leur permet. De plus, les microbes pathogènes se sont montrés plus résistants que les non pathogènes.

Enfin Paul Gibier (*Comptes rendus*, 1883) a soumis le virus rabique à des températures inférieures.

Un certain nombre de virus, dit-il, peuvent être atténués par le froid, et notamment le virus rabique.

Le froid à 0, à moins 5, 10, 15, 20, 30, même prolongé pendant plusieurs heures, ne paraît exercer aucune action sur le virus de la rage ; mais si l'on soumet à 35° pendant huit heures de la matière virulente rabique, les animaux inoculés ne meurent pas tous. Si l'on porte à 40° ou 43° cette même matière rabique, les animaux inoculés, chiens et lapins

résistent et, après avoir présenté un peu de malaise pendant quelques jours, ils se rétablissent.

M. Gibier ajoute qu'il n'a pas eu le temps de constater si cette inoculation confère l'immunité contre la rage.

CHAPITRE III

ACTION DU FROID AU-DESSOUS DE ZÉRO, L'EAU RESTANT EN SURFUSION

Les expériences sur l'action de l'eau maintenue liquide par la résistance des parois du vase qui la contient nous ont tellement demandé de tâtonnements, de démarches chez les constructeurs, qu'il nous a été impossible de nous occuper de cette question.

Voici quelles expériences nous nous proposons de faire aussitôt que le temps nous le permettra :

1° Nous rechercherons si des animaux qui meurent à — 1 degré, — 2, — 4, ne résistent pas dans l'eau maintenue en surfusion. Pour cela, il nous suffira de répéter l'expérience de M. Tellier, c'est-à-dire refroidir très lentement de l'eau contenue dans des vases à parois épaisses. Puis, nous rechercherons quelle est l'*influence de la congélation instantée*, très facile à obtenir, on le sait, par l'addition

d'une parcelle de glace ; l'eau se conduisant, dans ce cas, comme les solutions surnaturées

Nous répéterons ensuite, pour obtenir de plus basses températures, l'expérience de M. Dufour sur la surfusion de l'eau dans un milieu sans parois solides, et aussi l'effet de la solidification instantanée. Cet effet doit être sensiblement différent de celui qui se produit dans un vase à parois épaisses comme la carafe frappée de M. Tellier ; il y a toujours, dans ce dernier cas, une certaine pression qui n'existe pas lorsqu'une petite sphère d'eau est maintenue dans un liquide d'une faible épaisseur.

La difficulté de cette expérience sera de remplacer le chloroforme de M. Dufour par un corps ne possédant aucune action délétère.

CHAPITRE IV

ACTION DU FROID ET DE LA PRESSION SUR LES ÊTRES VIVANTS

Nous avons déjà dit plus haut qu'en cherchant à soustraire les êtres vivants à la congélation, nous pensions les conserver vivants à des températures plus basses que lorsqu'ils sont dans la glace. Nous allons donc examiner ce qui se passe lorsque l'eau

ne peut pas se congéler, grâce à la résistance des parois du tube qui la contient.

Avant de commencer ces expériences, nous *avons tenu à les exposer à notre excellent maître, M. Georges Pouchet*, professeur au Muséum; à qui nous avons dédié ce travail.

M. Pouchet nous a encouragé dans cette voie et inscrit aux frais du laboratoire un appareil que nous avions commandé.

Il a fait construire par M. Ducretet un tube en fer identique à celui dont s'est servi M. Gailletet pour ses expériences. — C'est un bloc de fer de 7 centimètres $1/2$ de diamètre et de 35 centimètres de hauteur; il est foré à son centre, et son diamètre intérieur est de 3 centimètres. Un ajustage et une forte vis permettent de le fermer hermétiquement. M. Ducretet l'a soumis à une pression de 1,000 atmosphères.

M. Pouchet, Biéatrix et nous, y plaçames, deux tubes en verre effilés à leurs extrémités et contenant : l'un, plusieurs copépodes; l'autre, des oscillaires. La cavité intérieure de l'appareil était remplie d'eau; on vissa soigneusement pour assurer une fermeture hermétique, et le gros tube en fer fut porté à l'usine Popp, où l'on fait actuellement des expériences sur le froid obtenu par l'air comprimé. Trois jours après, lorsqu'on voulut retirer l'appareil, il était fendu et désormais hors d'usage. La-

température avait été d'environ —20 degrés. — J'ai l'honneur de le présenter aux professeurs de mon jury.

Tous les copépodes étaient tués.

Les oscillaires enfermées dans le tube de fer l'étaient aussi, mais les oscillaires qui avaient servi de témoins étaient parfaitement vivantes.

Nous fîmes alors construire un petit tube d'*acier*, en nous basant sur les dimensions de celui de Bousingault, et, grâce à l'obligeance de M. Ducretet, nous obtînmes l'appareil en deux jours.

C'est un tube de 12 centimètres $1/2$ de long, fermé à sa base par un cône d'*acier* introduit froid dans le tube chauffé, puis soudé au cuivre rouge et frappé pour rabattre les bords en dedans ; son diamètre intérieur est de 11 millimètres, l'extérieur de 20. Il est fermé à sa partie extérieure par un écrou formant vis et bouchon. Un petit trou placé au centre du bouchon permet à l'air de s'échapper pendant la fermeture. Ce trou est lui-même fermé par une vis que l'on introduit en dernier lieu.

Le docteur Descouts a bien voulu nous donner toutes facilités pour exécuter nos expériences personnelles à la Morgue. En voici le résumé :

1° Dans l'appareil en *acier* plein d'eau, sont placés deux petits tubes effilés, en verre, contenant, l'un des oscillaires, l'autre des crustacés copépodes. — Nous ajoutons dans le tube en métal 2 planaires, de petites sangsues, des

daphnies, de petites limnées, des nématodes, des larves de chironomes (vers de vase) etc. Le bouchon est soigneusement vissé et l'appareil placé dans la caisse de gauche, au fond, à l'endroit où on opère la congélation des cadavres à la Morgue. La température y est généralement à moins 15. Le lendemain, le tube est enlevé, exposé à l'air et, après 4 heures, ouvert. Tout est mort, rien ne donne signe de vie. Les oscillaires paraissent, la plupart, cassées en une multitude de morceaux. Les autres animaux placés comme témoins, sont également morts, mais les oscillaires vivent parfaitement.

2° Aussitôt, nous répétons la même expérience, avec des oscillaires seules. Le tube est placé vers onze heures du matin dans la case, il est retiré à 5 heures, et à 7 heures nous l'ouvrons.

Les oscillaires et tous les animalcules qui les accompagnent sont morts.

3° Nous plaçons pendant deux jours tous nos animaux et les oscillaires dans la grande salle des morts dont la température est aux environs de zéro. C'était afin de leur ménager un refroidissement moins brusque. Le tube et l'eau qui le remplit sont soigneusement maintenus à zéro, et les animaux et les oscillaires toujours placés dans des tubes de verre effilés, sont introduits, avec toutes sortes de précaution dans le tube d'acier qui est fermé et porté dans la case ordinaire.

Résultat identique à celui des autres expériences.

4° Même expérience que précédemment, mais le tube est enveloppé d'une épaisse couche de chiffons destinés à ralentir le refroidissement et le réchauffement. Autour de l'appareil sont placés de petits tubes d'eau pour s'assurer si le froid a pénétré. Le lendemain matin, l'appareil est retiré ; les tubes de verre sont gelés. — Le tube est remplacé une demie-heure dans la case, puis, toujours enveloppé, il

est retiré. Huit heure après, nous procédons à son ouverture.

Toujours le même résultat.

5° Expérience semblable sur des oscillaires seules. Le refroidissement lent ne les a pas empêché de mourir.

6° L'appareil contenant des oscillaires et quelques animaux, est placé dans la case d'en haut, à droite, dans laquelle la température est, pendant la journée, de 6 à 8 degrés, mais pendant la nuit, la machine fonctionne tout le temps ; les cases ne sont pas ouvertes et il n'y a pas de thermomètre enregistreur. Il est donc difficile d'admettre que la température est restée à 8 degrés.

Le résultat a été le même que pour les expériences précédentes.

7° Une culture de *Bacillus anthrax* a été placée par Bié-trix et nous dans un petit tube de verre, plongé ensuite dans l'appareil rempli de bouillon stérilisé. Il ne nous est pas possible de nous prononcer sur les résultats, par cela même que pour en constater son degré de virulence, il est nécessaire d'en faire des cultures et de l'expérimenter sur des animaux.

8° Avec de la levure de bière ; mais notre appareil qui avait résisté pendant plus de vingt jours, s'est fendu. Nous en faisons construire un autre.

CHAPITRE V

INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LES ÊTRES VIVANTS CONGÉLÉS

A l'égard de cette question, n'ayant eu le temps, ni les moyens d'entreprendre des expériences, nous

nous contenterons de donner le résumé de celles que nous avons l'intention de faire.

Nous avons vu plus haut que parmi les nombreux êtres vivants soumis par nous à de basses températures, les oscillaires meurent à moins 15 degrés et à la pression de deux mille atmosphères, tandis qu'elles résistent très bien si on les soumet tout simplement à la température de moins 15 degrés, soit plongées entièrement dans l'eau, soit dans l'état où on les trouve le long des murs de la Halle aux vins, rue de Jussieu. Il y aurait donc lieu de rechercher quelle est la part qui revient à la pression et soumettre successivement à des pressions graduellement croissantes un tube d'eau congelée à — 15°, jusqu'à ce qu'on obtienne la mort des oscillaires.

CHAPITRE VI

RÉFLEXIONS

Nous avons vu que James et William Thompson ont trouvé par le calcul et l'expérience que la pression d'une atmosphère abaissait le point de fusion de l'eau de 0°, 0075, c'est-à-dire que pour faire fondre la glace à — 7 degrés, il faut la soumettre à une pression de 1,000 atmosphères, à — 14 degrés, 2000 atmosphères. Réciproquement, pour empêcher l'eau maintenue liquide par la pression de se congé-

ler, il lui faut une pression égale. Nos animaux ont donc été soumis à une pression de *deux mille atmosphères* environ, c'est-à-dire une pression égale à une colonne d'eau de 16 kilomètres de hauteur, pression que n'a pu supporter le tube de Cailletet.

Certes, nos expériences pourraient être plus nombreuses, plus précises ; il y aurait peut-être lieu de les répéter dans d'autres conditions. Cependant il nous paraît assez facile d'admettre que des êtres qui supportent un froid de -15 degrés ne peuvent supporter ce même froid quand il s'y ajoute une pression aussi considérable.

Nous nous proposons d'étudier l'action de la pression et du froid combinés sur des microbes, sur des virus, qui, jusqu'à présent, ont résisté aux plus basses températures.

Paul Gibier a remarqué que le virus de la rage s'atténue à moins 40 degrés. L'expérience nous apprendra ce que ce virus devient lorsqu'on y ajoute la pression.

CONCLUSIONS

De l'ensemble des faits que nous venons d'énumérer, il nous paraît possible de tirer les conclusions suivantes :

1° Certains animaux peuvent résister à la température de zéro pendant un temps variable, mais qui pour les larves de la mouche de viande peut dépasser 8 mois.

2° Quelques êtres qui résistent à de basses températures, sont tués à ces mêmes températures si on les place dans un vase clos à parois suffisamment résistantes pour s'opposer à la congélation de l'eau.

Vu le Doyen,
BROUARDEL.

Vu par le Président de la thèse,
LABOULBÈNE.

Vu et permis d'imprimer,
Le vice recteur de l'Académie de Paris,
GRÉARD.
